

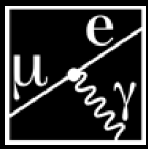
MEG実験液体キセノン検出器の アップグレードに向けた マルチピクセル光センサーの開発

金子大輔、他MEGコラボレーション



- 液体キセノン検出器の改造
- 紫外線有感MPPPCの開発
- MPPPCアセンブリ・読み出しR&D

新しい大型
プロトタイプ



MEG upgrade

(内山:26pRC-3)

$\mu^+ \rightarrow e^+ + \gamma$ 崩壊を探索

現在のMEG

今年3月に最新結果を発表した
 $Br < 5.7 \times 10^{-13}$ (90% C.L.)

arXiv:1303.0754

Phys. Rev. Lett. に投稿中。

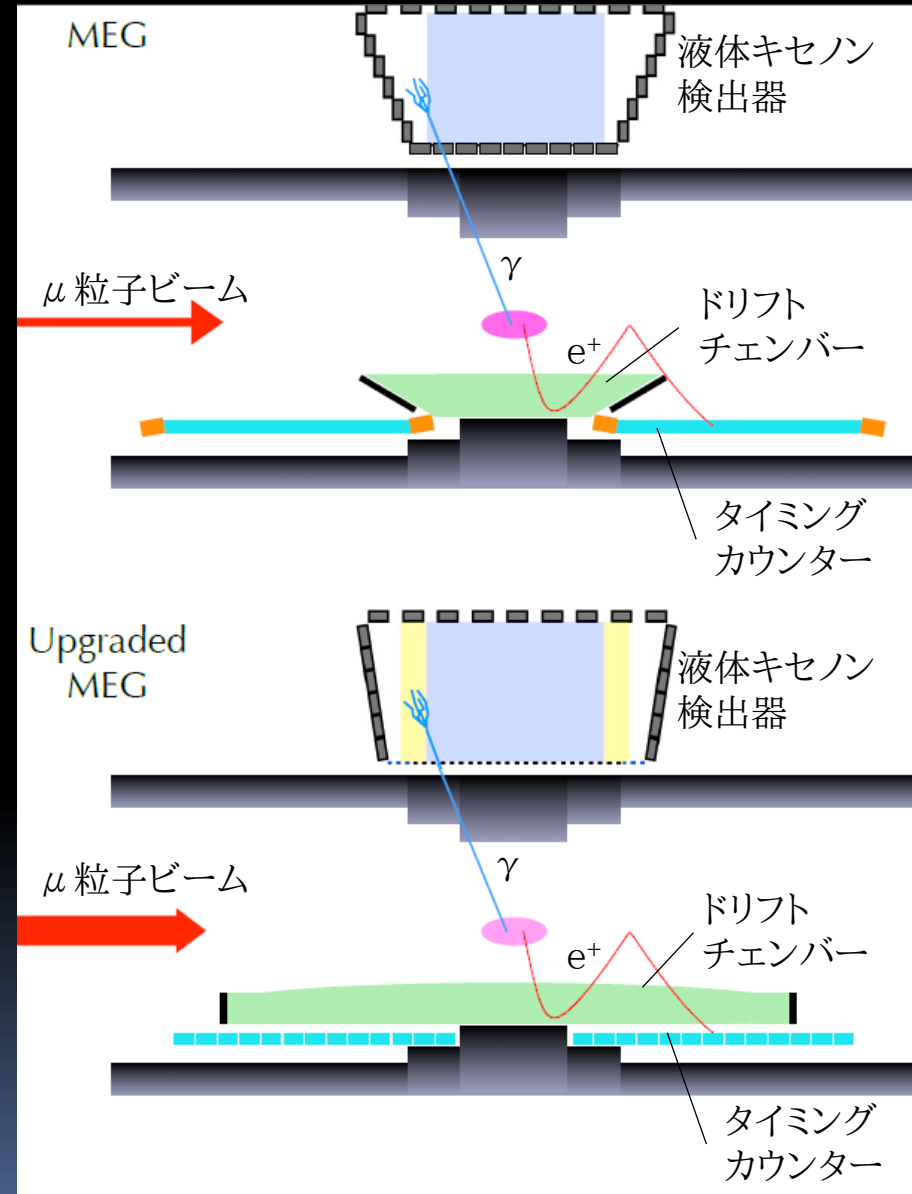
(藤井:29pRC-2)

2013年で第1期DAQ終了
 5×10^{-13} (90% C.L.) に到達する見通し

改造後のMEG

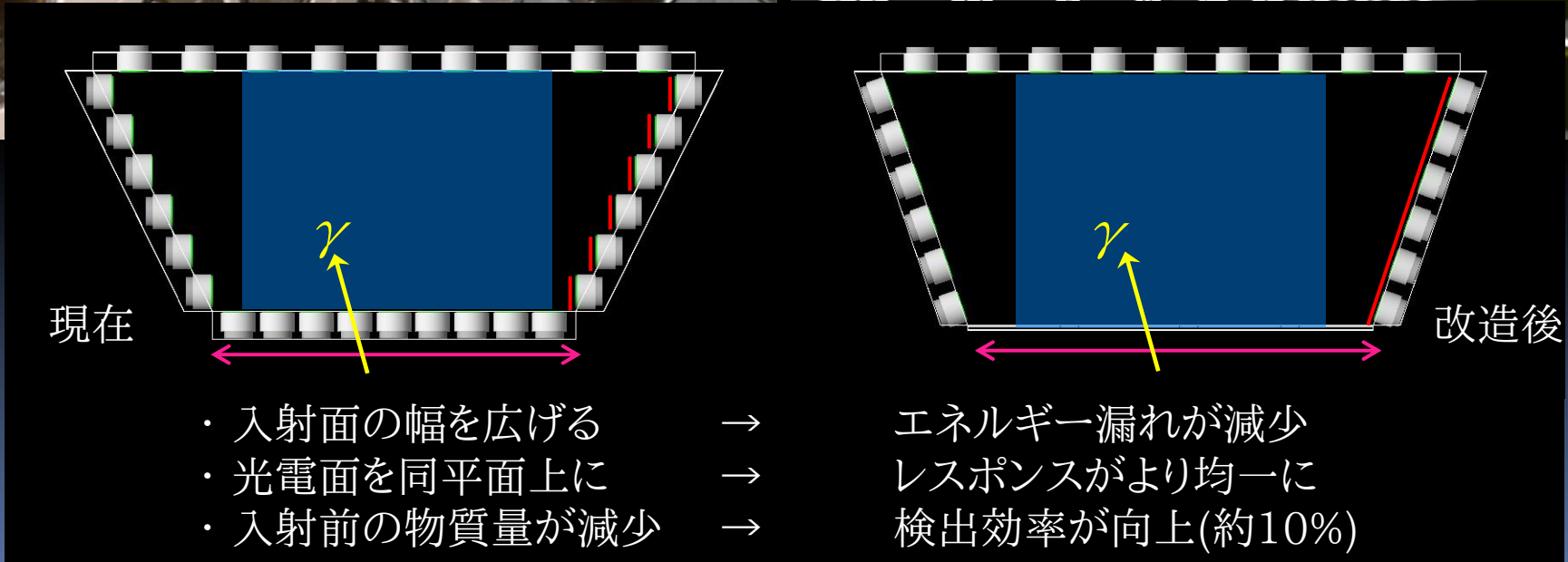
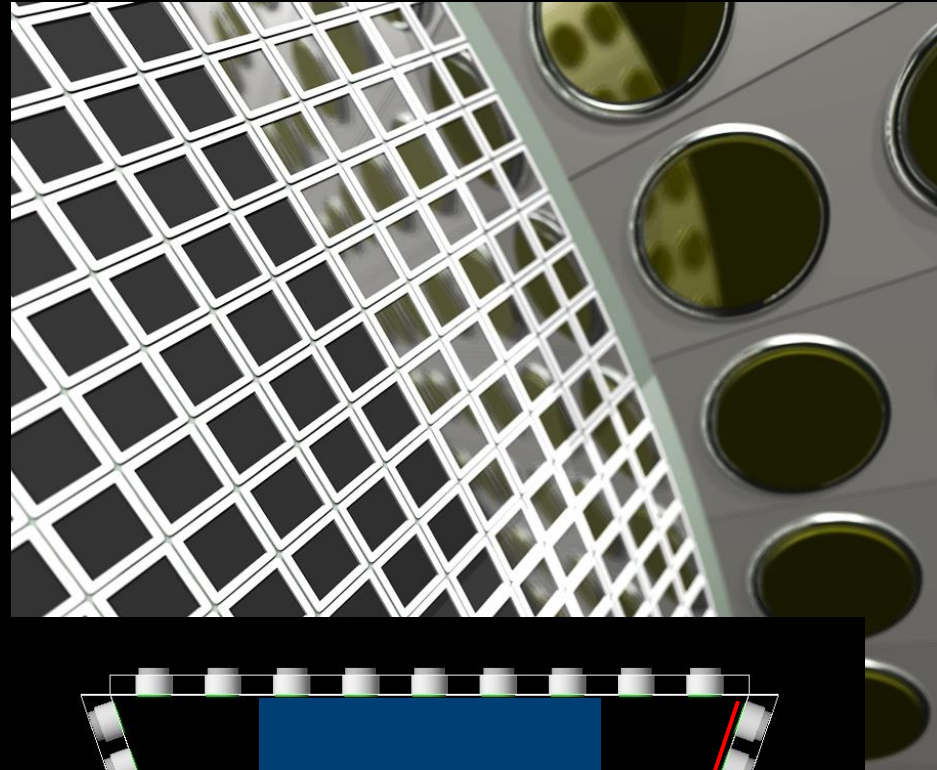
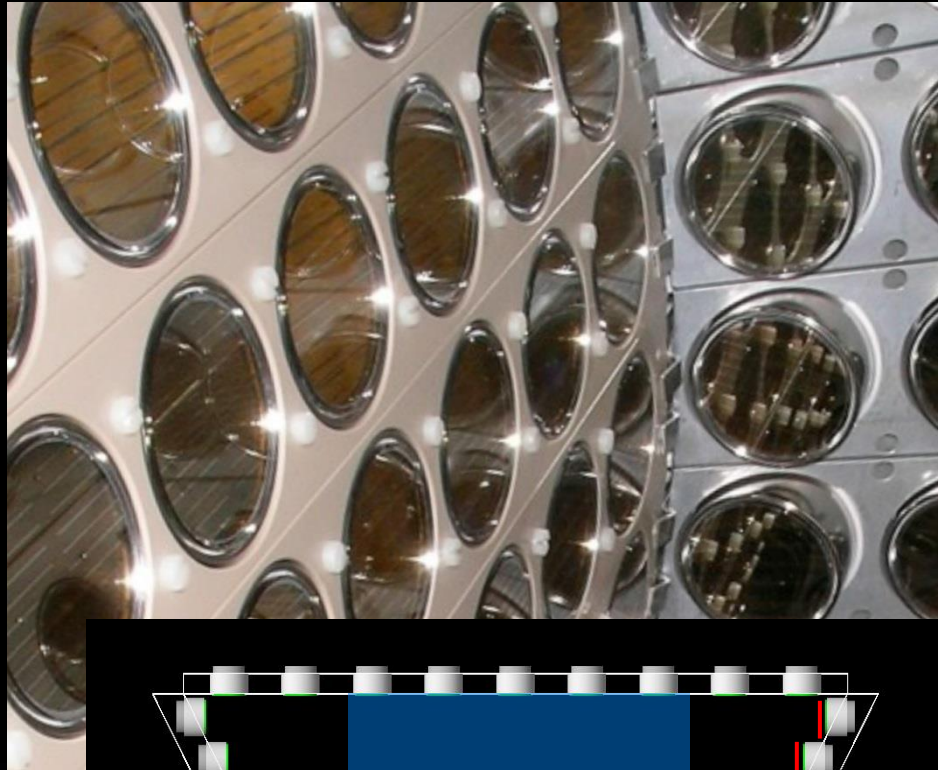
感度の向上のため改造を予定している
感度1桁更新 10^{-14} 台に突入

新型タイミングカウンタの開発
(西村:26aHC-15)





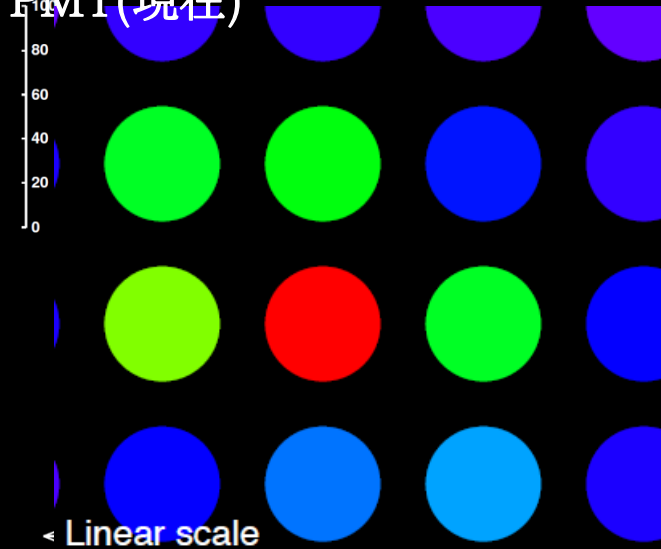
Upgrade of Liquid Xenon Detector



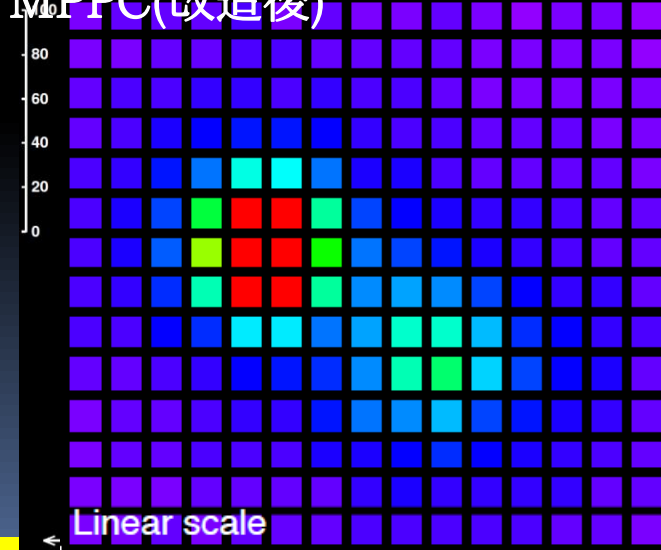


Expected performance

PMT(現在)

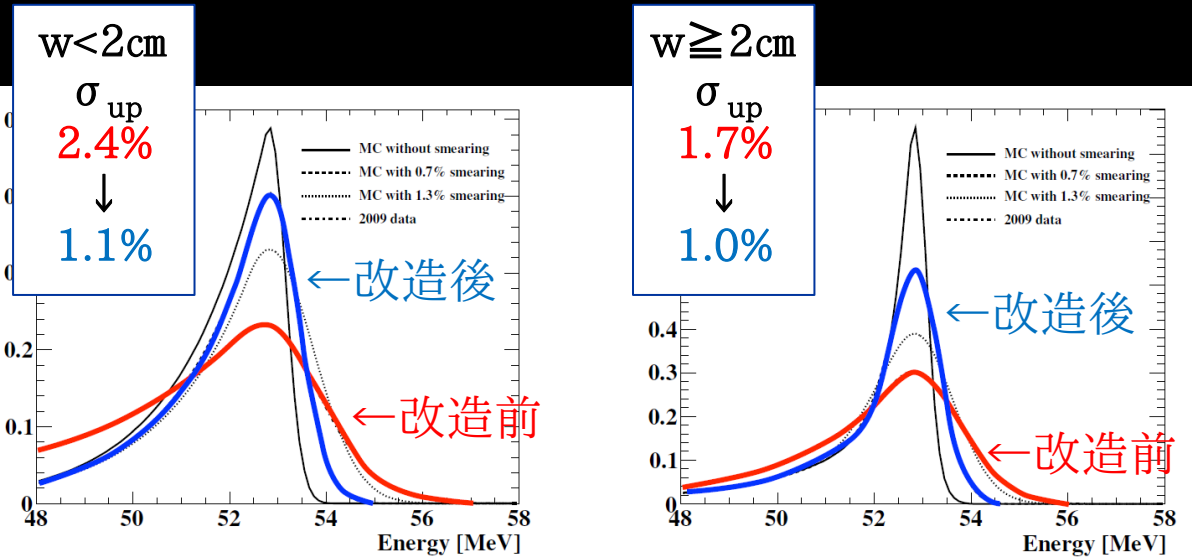


MPPC(改造後)



エネルギー分解能、位置分解能が向上する

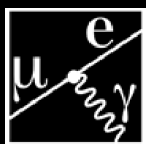
内面近くでガンマ線が反応したイベントについて顕著



エネルギースペクトルの変化
改造前実績 → 改造後予想



■ 紫外線有感MPPCの開発



MPPC for Liquid Xenon

浜松ホトニクスと協力し、新型MPPCを開発中
要求

- ・ VUV ($\lambda = 175 \pm 5 \text{ nm}$) に対する感度

現在市販されている製品は液体キセノンのシンチレーション光に対してほとんど感度が無い。

前回の物理学会で $3 \times 3 \text{ mm}^2$ サイズの新型MPPCについてPDE11%と報告

- ・ 単一の素子として、 $12 \times 12 \text{ mm}^2$ の大きさ

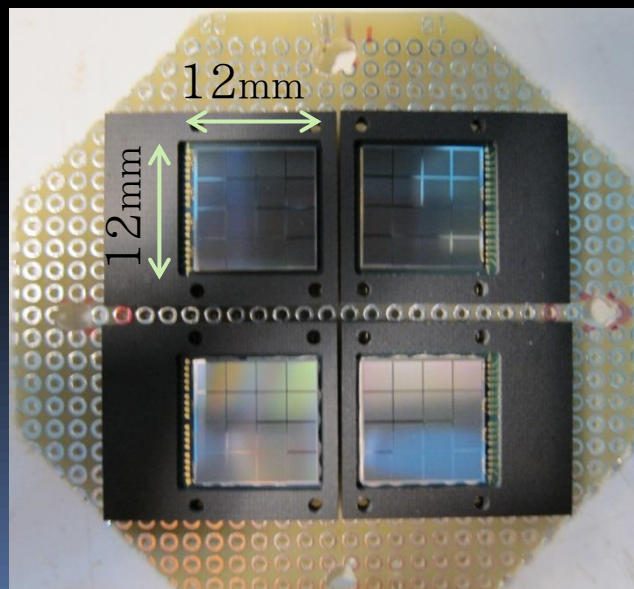
市販品は $3 \times 3 \text{ mm}^2$ が最大。
チャンネル数の抑制。
 $12 \times 12 \text{ mm}^2$ で約4000ch。

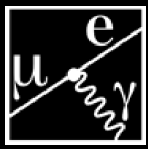
対策:

保護膜を除去
不感層を薄く
反射防止膜
LXe の屈折率に合わせる

NEW

12mm角・紫外線
高感度型MPPC





MPPC prototype tests

試験項目

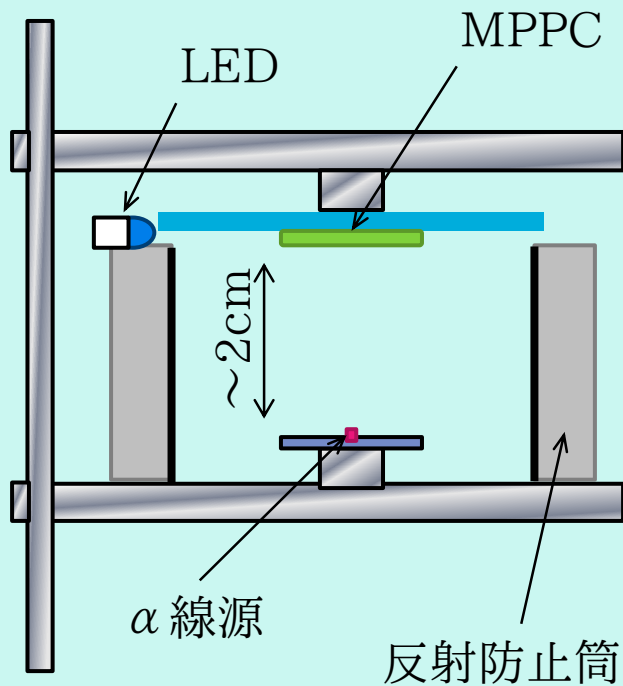
- ・ gain測定
LEDを使用
- ・ photon detection efficiency (PDE) 測定
 α 線源 ^{241}Am を使用

$$\text{PDE} = \frac{(\text{検出した光電子数})}{(\text{MPPCへ到達する光子数})}$$

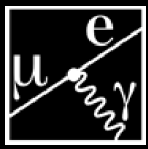
光学クロストーク・アフターパルスの
寄与を補正する

- ・ 温度依存性(安定性) の測定

液体キセノン中



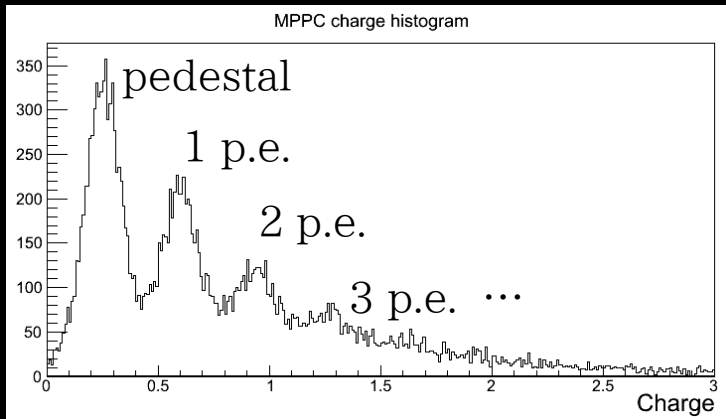
クライオスタット内模式図



Performance of new MPPC prototype

12×12 mm²プロトタイプの
スペクトル (LED光源)

1 p.e. が分離できる。

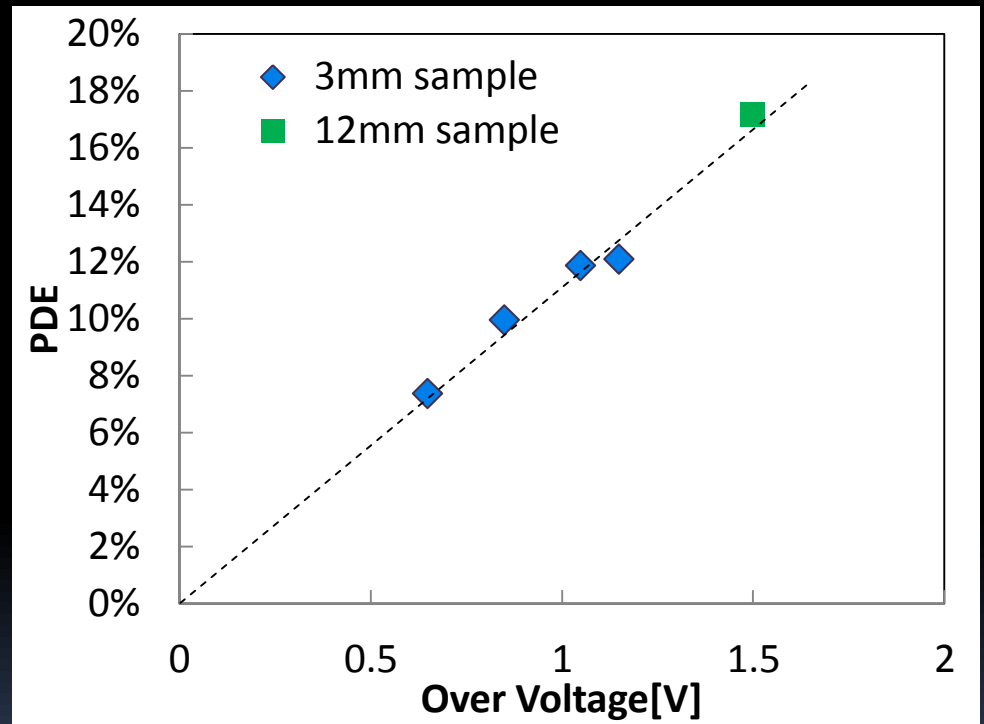


$$\text{gain} = Q(1 \text{ p.e.}) - Q(\text{pedestal})$$

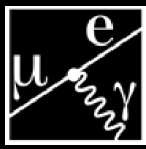
crosstalk, after pulse の確率
Poisson分布との差から求める

PDEの測定

3×3mm² プロトタイプとコンシステント
1.5 V の over voltage で PDE 17%



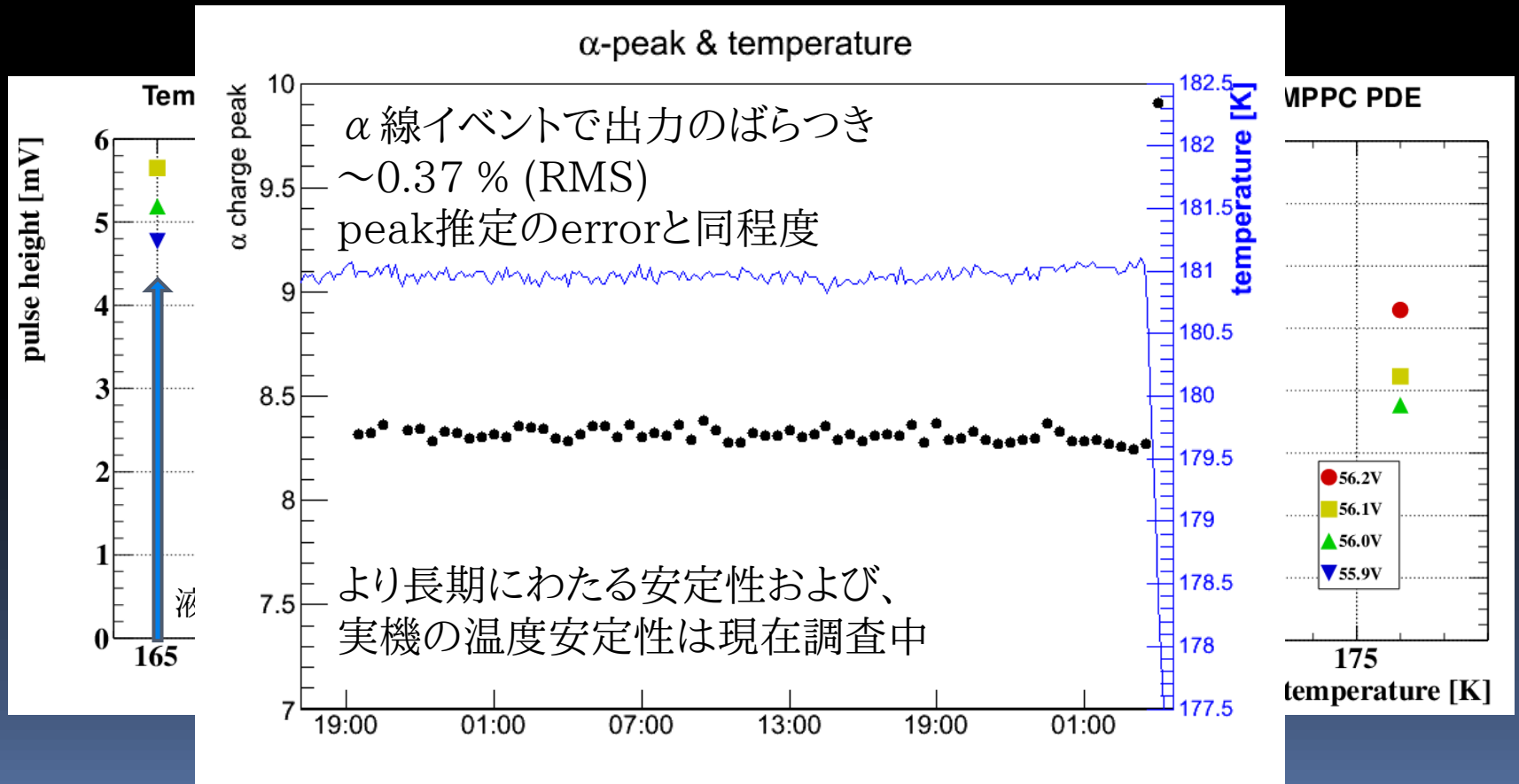
この素子を改造に採用すると、現在の検出器と比較して検出できる合計の光電子数は2, 3割増加する。

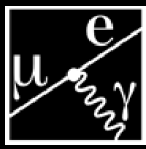


Temperature Dependence

Break-Down Voltage の温度依存性
測定されたBDVの温度係数 0.038 [V/K]

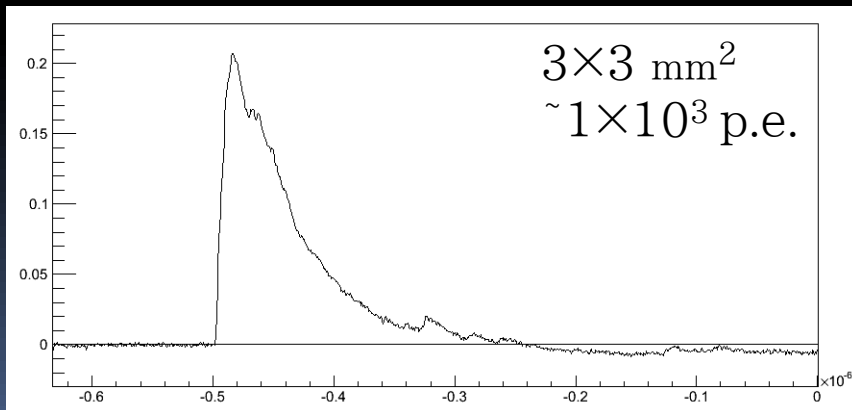
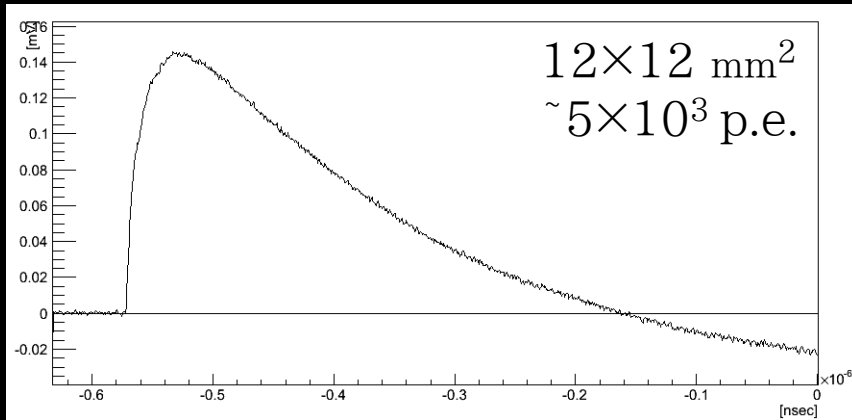
バイアス電圧を固定してMPPCのgain、PDEを測定





Waveform with Large MPPC

観測される波形の例
(α 線光源)



大型のMPPCではキャパシタンスの増大によって波形のテールが長くなっている。
 $\tau \sim 200$ ns

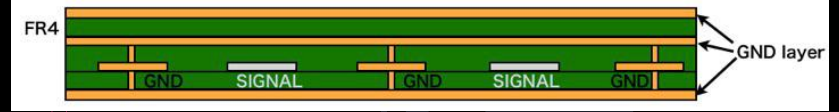
pile upの増加、SN比の悪化を引き起こすため、できるだけシャープな波形を目指す。

対策

- ・クエンチ抵抗を可能な限り小さく
- ・プリアンプ入力インピーダンスを下げる



フィードスルーPCB断面図



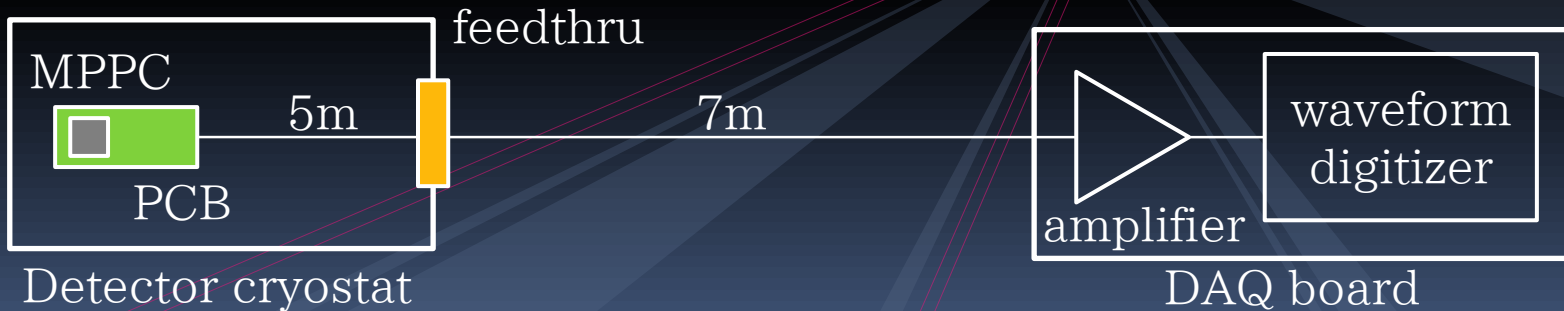
- 同軸構造
- 50 Ω インピーダンス
- MMCXコネクタで接続

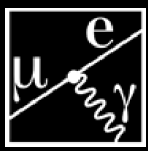


MPPCマウントPCB プロトタイプ

MPPCアセンブリ・読み出しR&D

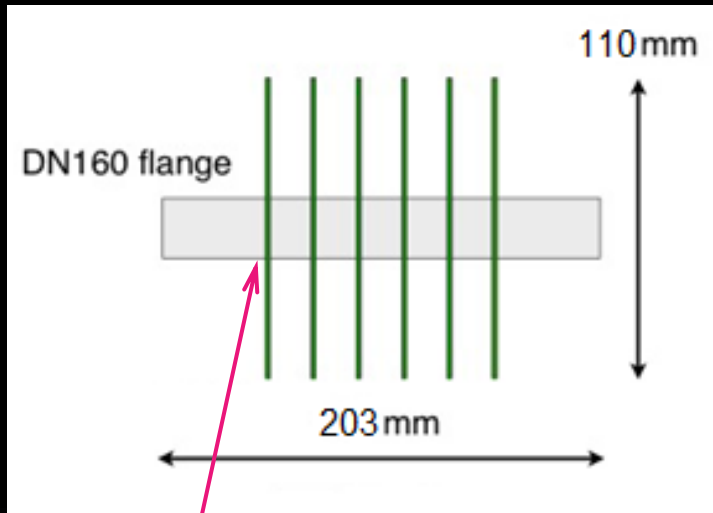
MPPCから読み出しエレクトロニクスまでの各部設計開発





Development of PCB and feedthrough

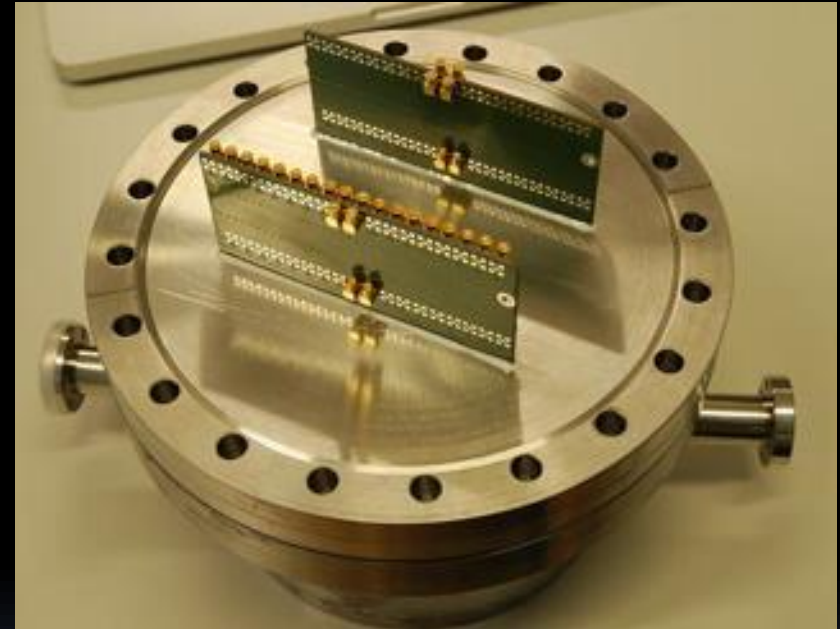
チャンネル数の増加に対応するため、高密度で信号を通す事ができるフィードスルーが必要。プリント基板がフランジに刺さっているフィードスルーを設計した。



エポキシ接着剤で固定

DN160 (ICF203)
フランジ1個当り
6(枚) × 72 ch = 432 ch

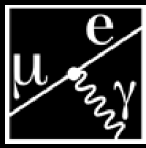
このフランジが10個必要



プロトタイプを作成

- 気密性 ($\sim 10^{-4}$ Pa)
- シグナルの伝導
- クロストーク ($< 0.2\%$)

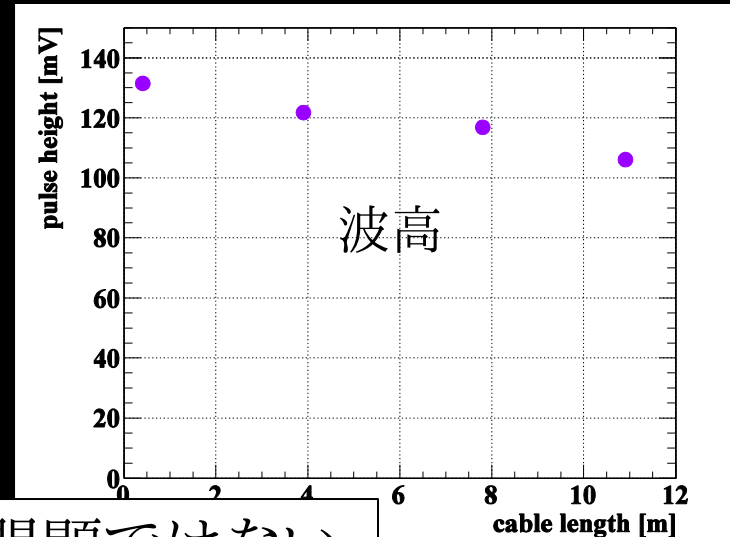
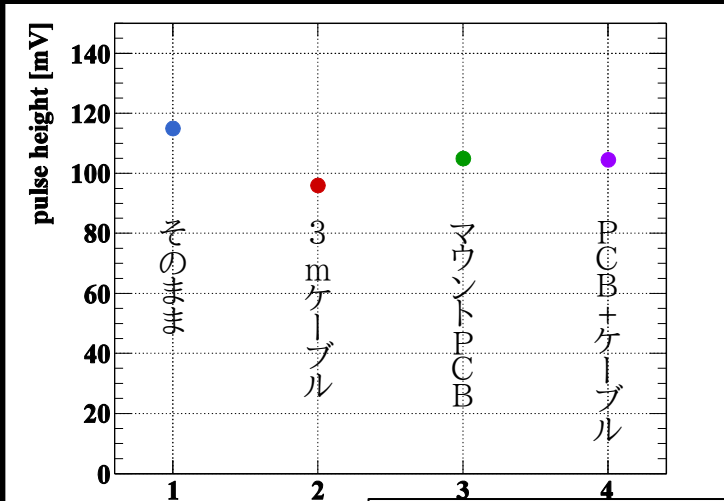
全て問題なし



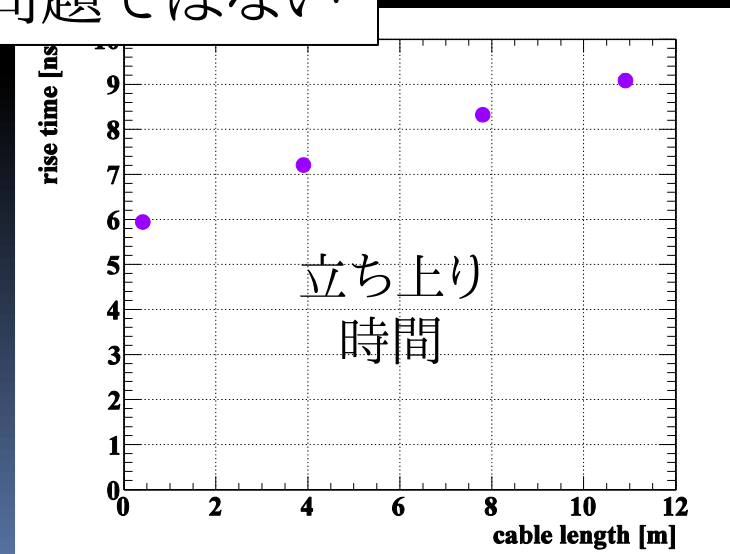
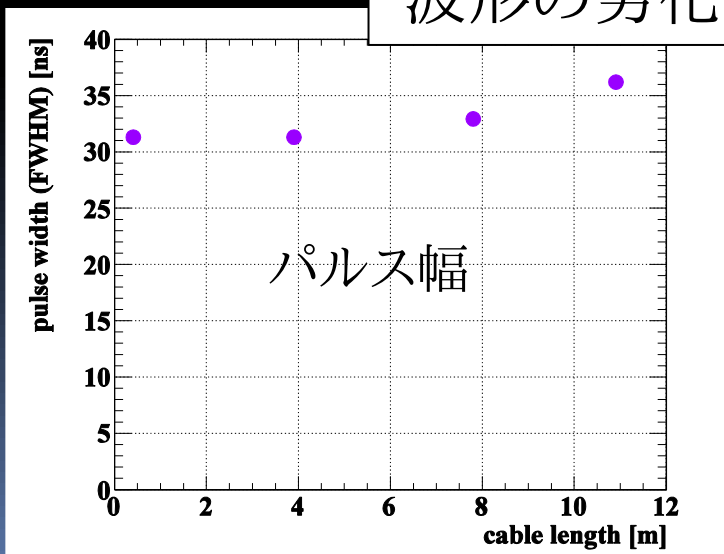
Effects of PCB & long cable

実際の検出器では

- ・MPPCがPCBにマウントされている。
- ・MPPCから読み出しエレキまで約10mの同軸ケーブルがある。



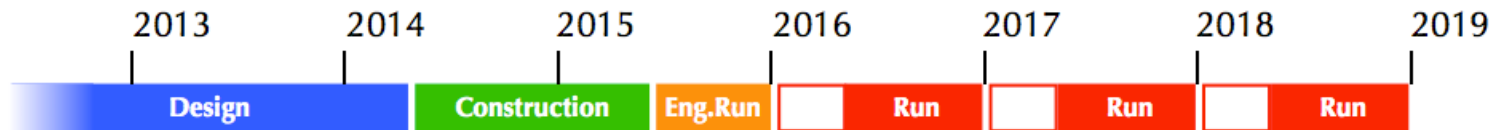
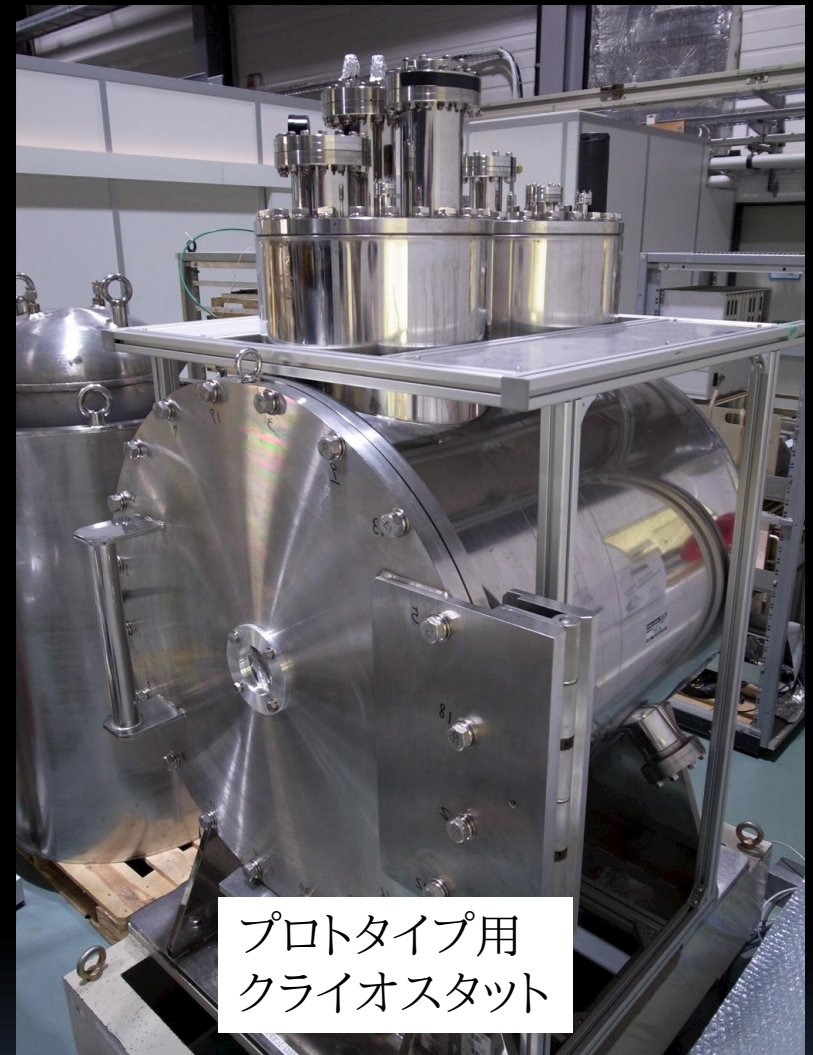
波形の劣化は問題ではない

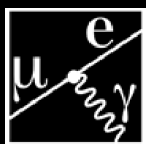




Plan

- MPPCパラメータの最適化
新技術MPPCの仕様を取りこむ
(~1, 2ヶ月)
- プロトタイプ試験
(来年春頃まで)
- 2014年実機製作開始
- MEG第2期は2016年の予定





Summary

MEG液体キセノン検出器の改造に用いるMPPCについて

12×12mm²の面積を持つプロトタイプを作成した

性能

- ・単一の光電子が分離可能
- ・キセノンのシンチレーション光に対するPDEは以前の結果と合致、最大17%

課題

- ・波形を短くする工夫が必要

実機の建造に必要な各部分の設計も進めている。

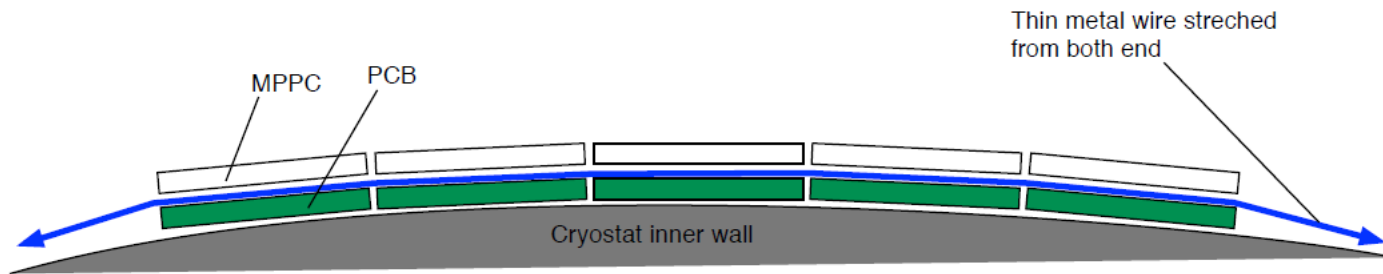
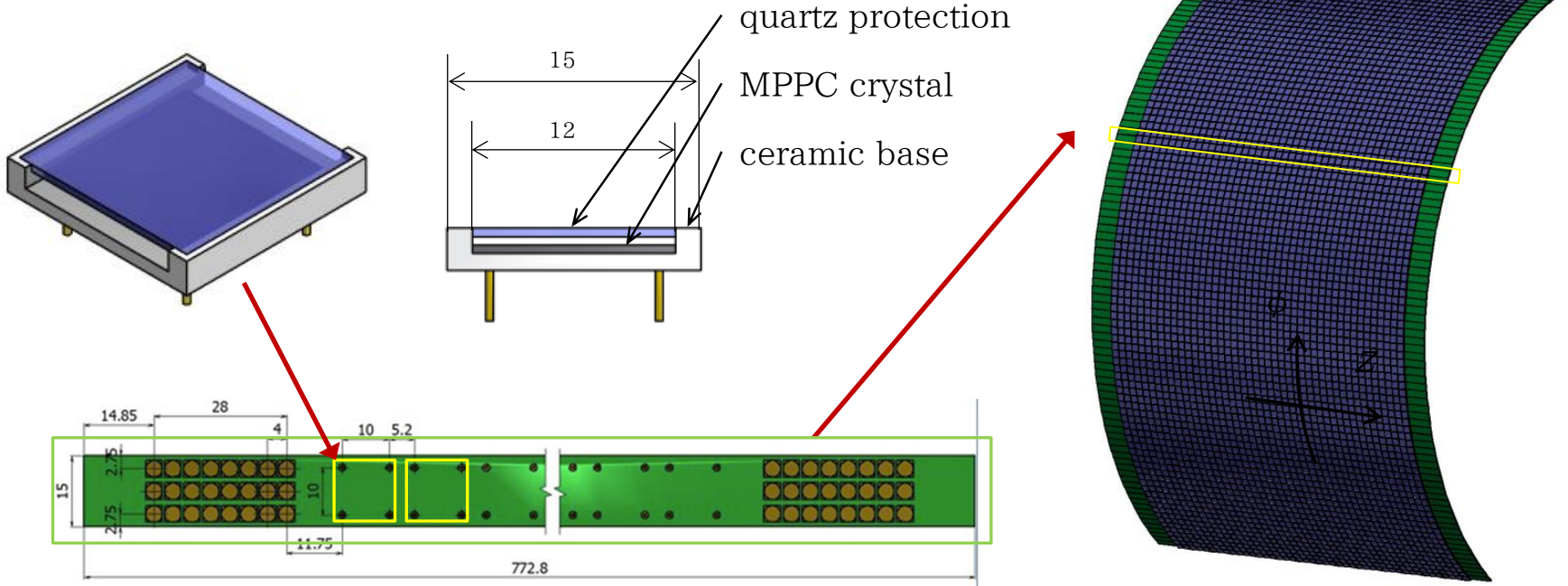
ご清聴ありがとうございました

概要

現在、MEG実験における液体キセノン検出器の改造に使用する新型のMPPCを開発しており、 $12 \times 12 \text{mm}^2$ の面積をもつ新しい試作品が完成した。この試作品は紫外線に高い感度があり、かつ単一光電子を弁別可能であることがわかった。



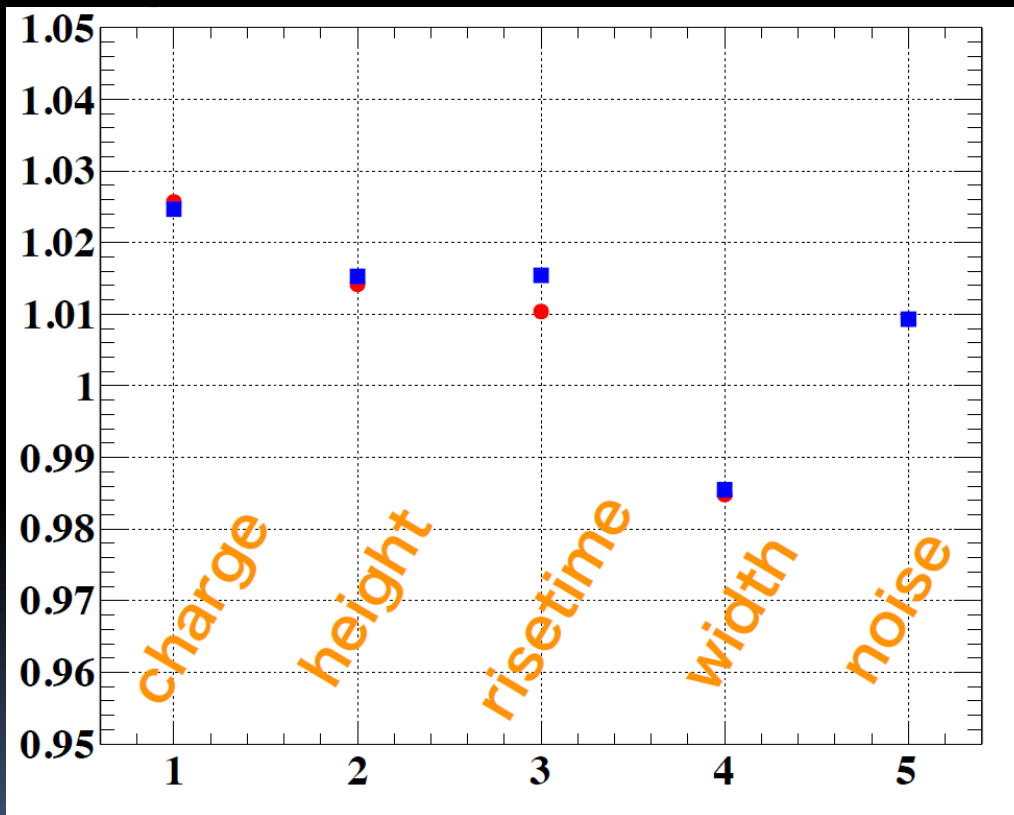
MPPC and PCB assembly





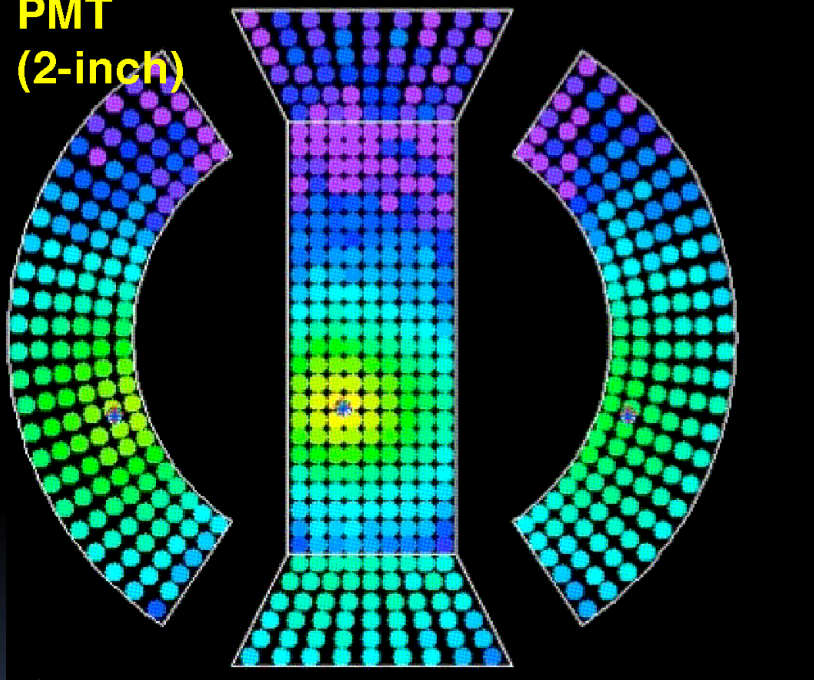
feed through

feedthrough signal transmittance

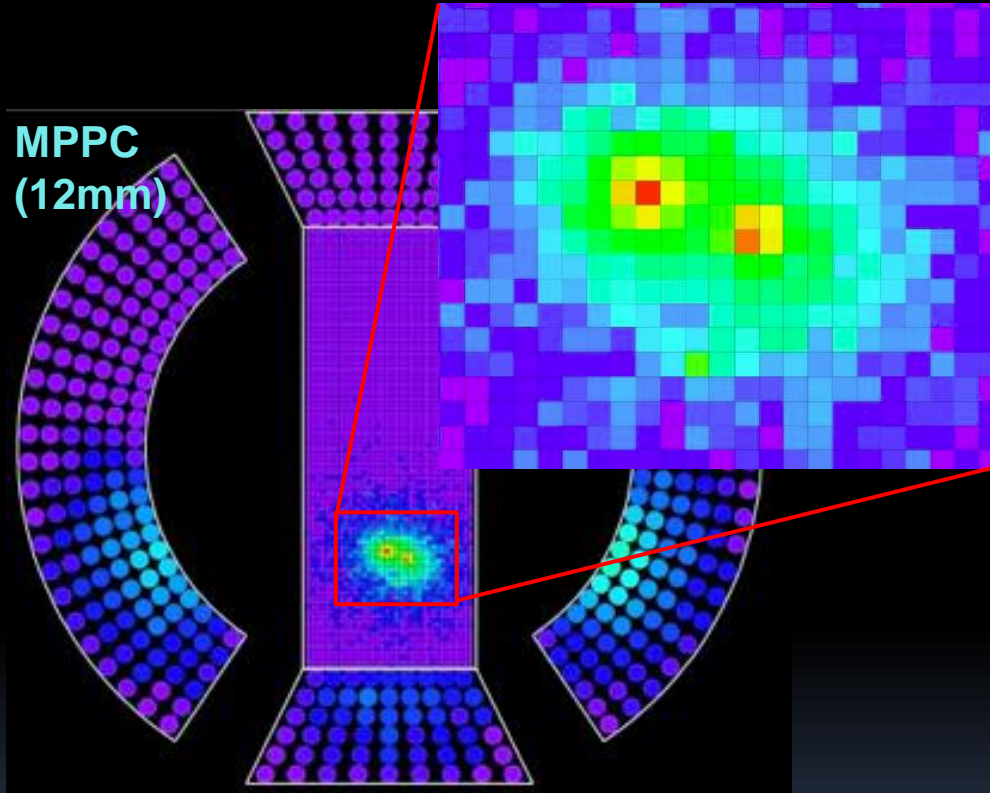


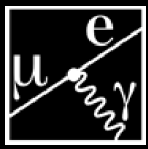


PMT
(2-inch)

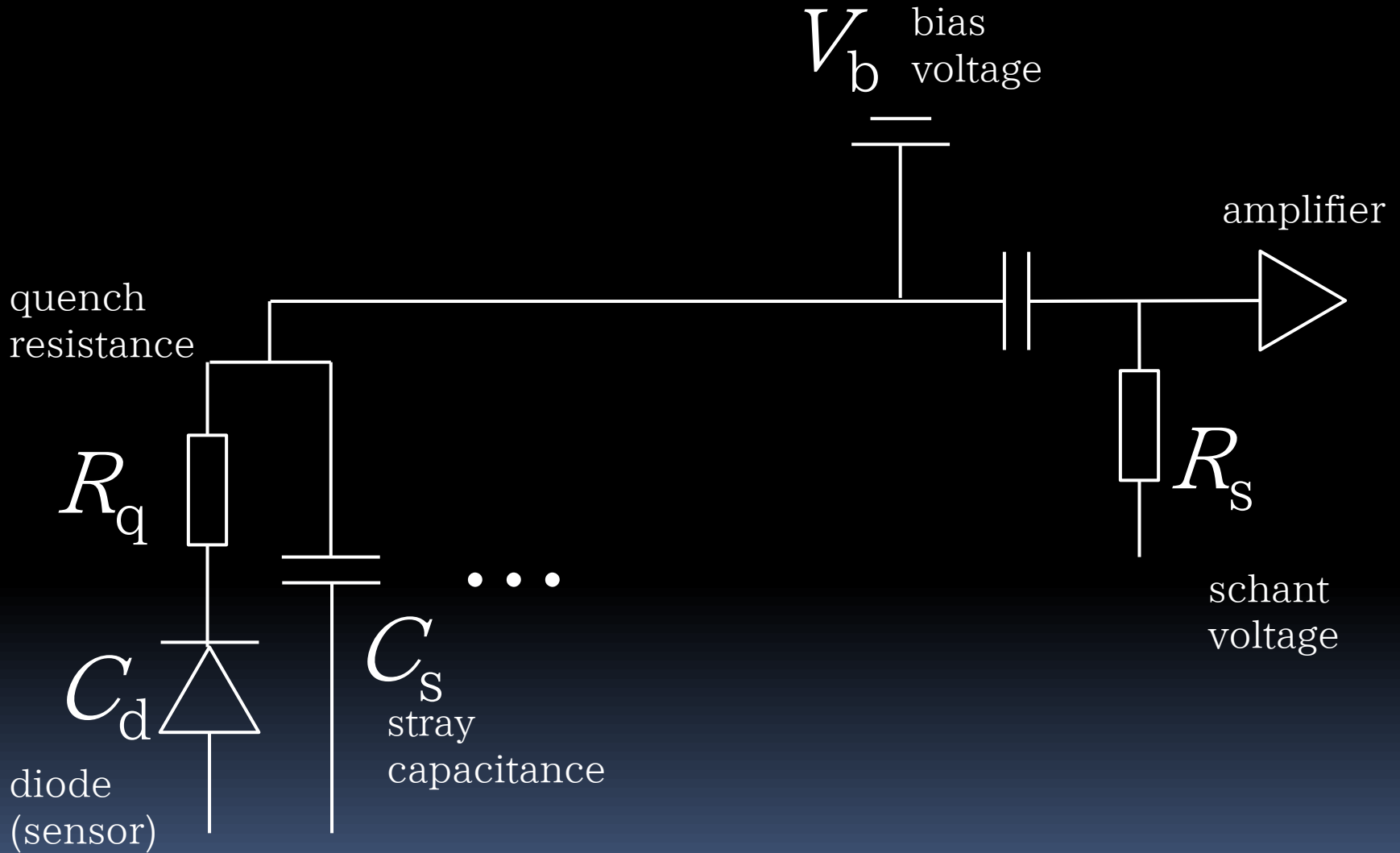


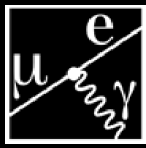
MPPC
(12mm)



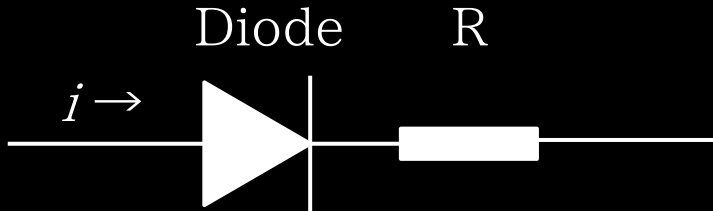


MPPC circuit model





Quench Resistance



Diode R

$V_d = ?$ $V_r = iR$

$$V = c_0 i + c_1 \ln i + c_2$$

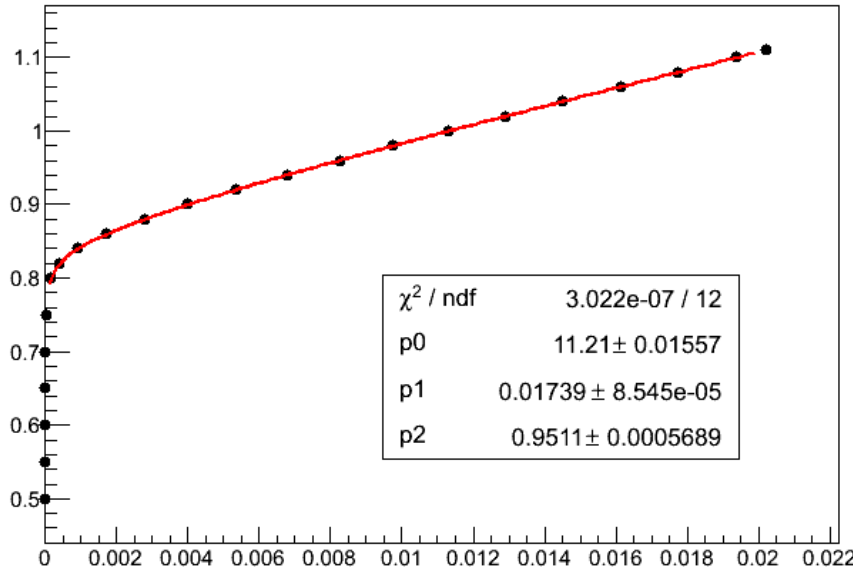
Approximated Characteristic of Diode

$$I = I_0 \exp(kV-1)$$

$$\downarrow$$

$$V = c_1 \ln I + c_2$$

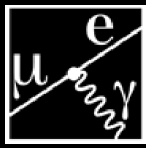
Graph



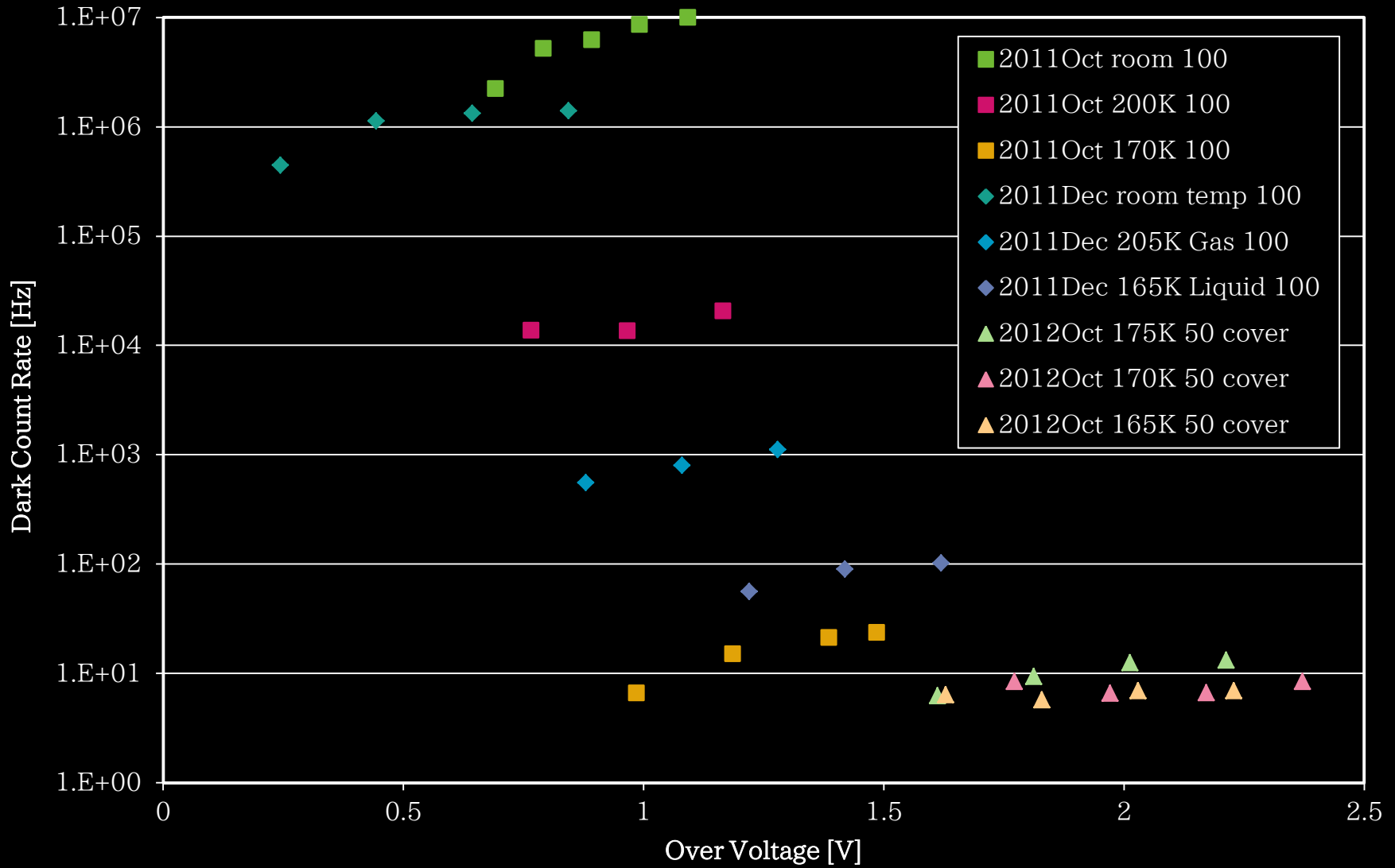
Total current I
 $I = i \times (\# \text{ of pixel})$

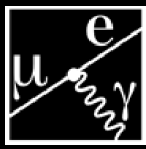
$$R = 16 \times 3600 \times c_0$$

$$= 646 \text{ k}\Omega$$



Dark Count Rate





Crosstalk & Afterpulse

Make very weak LED flash where a few photons detected by MPPC.

Photon emission distribution from LED is expected to be Poisson distribution.

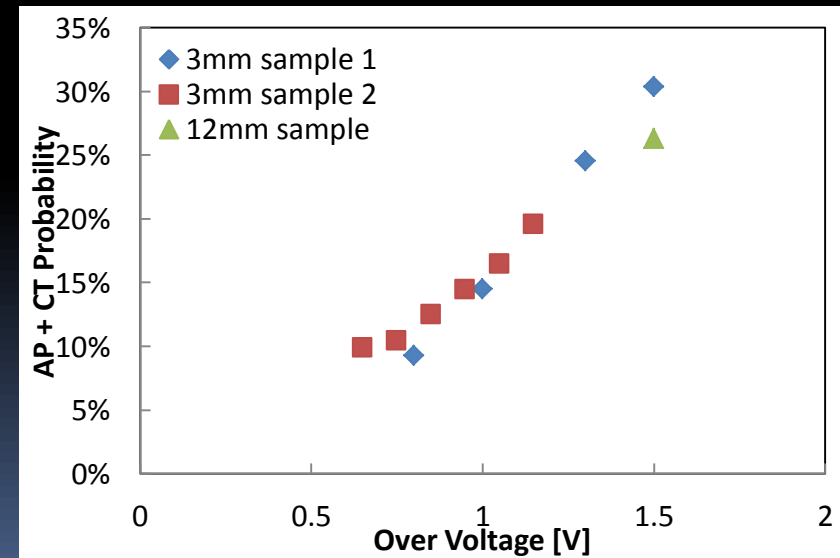
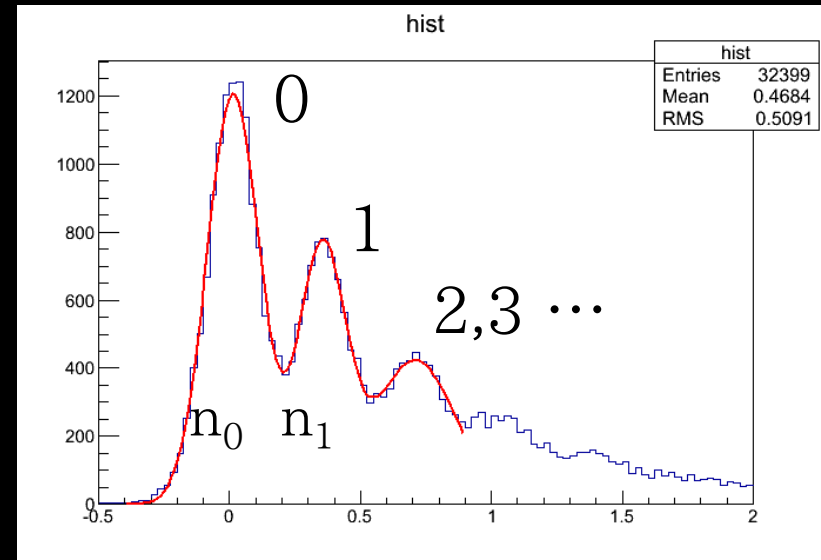
$$P(\lambda; k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \quad \lambda = \ln(-n_0)$$

P : Probability at least once CT or AP occur
 p : Probability exactly once CT or AP occur

$$P = P(\lambda; 1) - n_1 = p + p^2 + p^3 + \dots$$

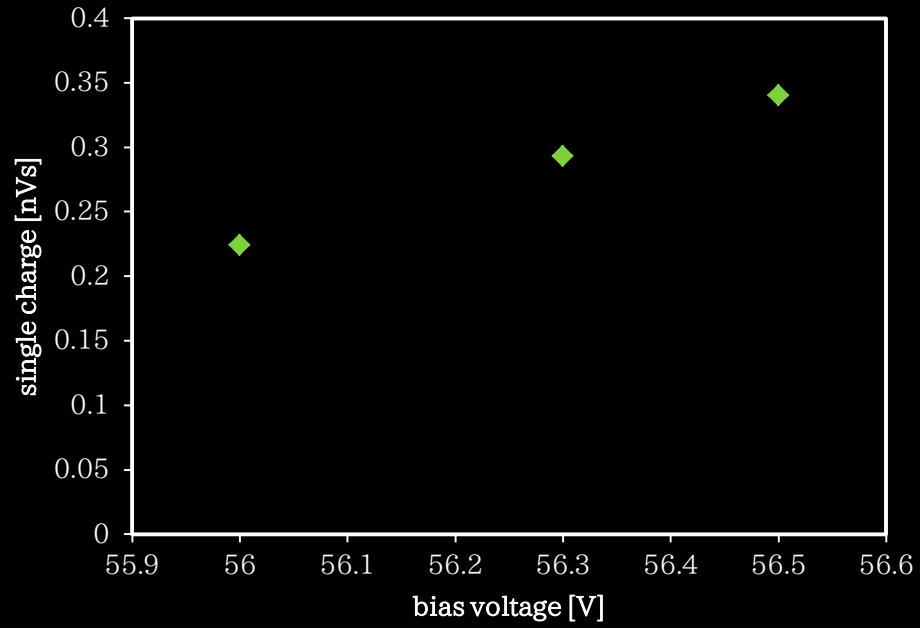
A pulse is multiplied by this, due to CT & AP.

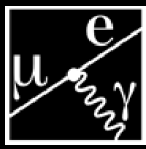
$$1 \rightarrow 1 + 2p + 3p^2 + \dots = \frac{1}{(1-p)^2}$$



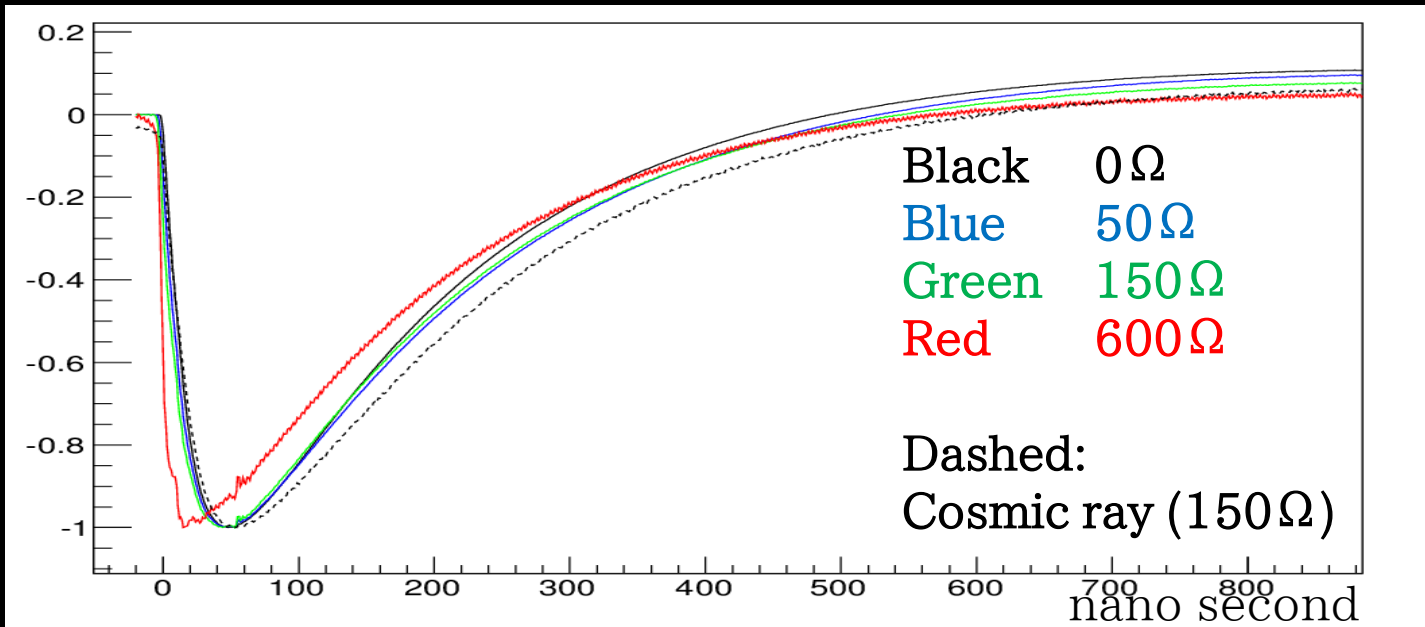


1211-16CH-G-D

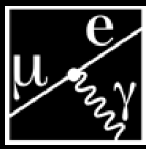




pre-amp waveform



Preamp setting	0	50	150	600	CR (150)
Charge	8.29	2.952	1.601	0.672	
σ_{up} of charge	0.768	0.2384	0.1342	0.0587	
Resolution [%]	9.26	8.08	8.38	8.74	
10 - 90% [ns]	25.14	24.57	24.32	13.74	30.12
10 - peak [ns]	49.69	49.15	47.04	18.73	53.39
peak - 50% [ns]	137.64	149.88	150.01	153.72	164.55
Decay τ [ns]	196.5	209.5	207	193	216



Hamamatsu new MPCC

When recent improvements on MPCC are Introduced,
higher voltage can be applied.

- Higher PDE
- Higher gain → better S/N
or smaller pixel size
- shorter pulse

increase of resistance at low
temperature can be suppressed by
metal quench resistance ↓

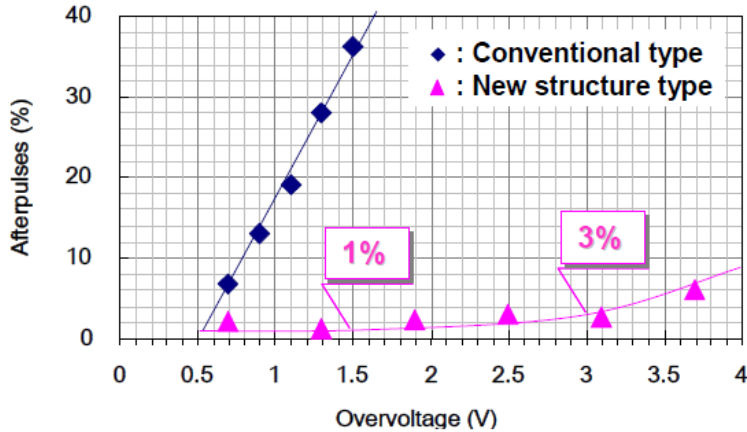


Fig.10. Afterpulse probability compared with conventional MPCC and new structure MPCC

Overvoltage = 2.5 V

	Standard MPCC	New MPCC
Dark Count	2.7 Mcps	1.7 Mcps
After Pulses	> 100%	3%
PDE	38%	43%
Overvoltage Range	1.5 ~ 2.5 V	2 ~ 3.5 V
Timing Resolution	250ps*1	140ps

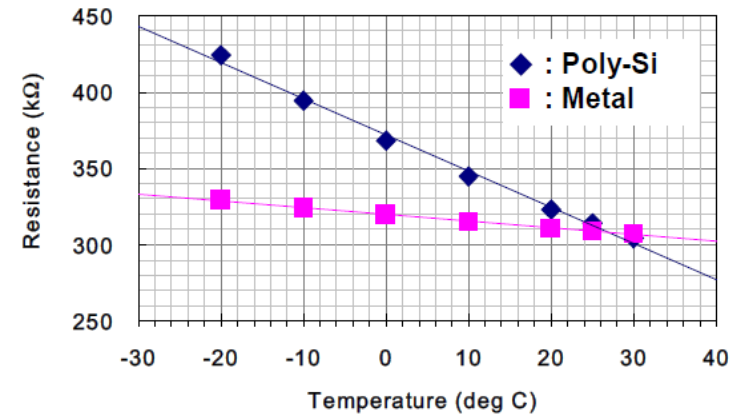


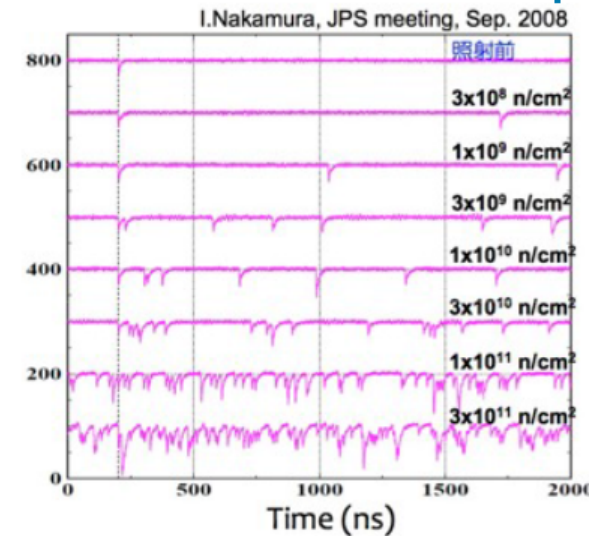
Fig.9. Temperature dependence of resistance compared with poly-Si and metal quenching resistor at 310 kΩ resistance

Radiation Hardness

- ✓ Modest radiation hardness is a kind of weak point of SiPM.
- ✓ Possible effects
 - ✓ Increase of dark noise
 - ✓ Gain degradation

Expected radiation in MEG upgrade

	MEG upgrade (3 years)	Threshold
Neutron	$7 \times 10^7 \text{ n/cm}^2$	$\approx 10^9 \text{ n/cm}^2$
γ	0.3Gy	200Gy



- ✓ Radiation hardness of SiPM should NOT be an issue in MEG upgrade.